

# ANALISA *EFFECTIVE WAKE FRICTION* AKIBAT PENAMBAHAN *STERN TUNNELS* PADA KAPAL TROPICAL PRINCESS CRUISES MENGGUNAKAN METODE CFD (*COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC*)

Tuswan<sup>1)</sup>, Deddy Chrismianto<sup>1)</sup>, Parlindungan Manik<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Indonesia

Email : [tuswannavalarch12@gmail.com](mailto:tuswannavalarch12@gmail.com), [deddychrismianto@yahoo.co.id](mailto:deddychrismianto@yahoo.co.id), [parlin1974@yahoo.com](mailto:parlin1974@yahoo.com)

## Abstrak

Peningkatan performa kapal harus dilakukan untuk menunjang kinerja kapal terutama kapal penumpang yang membutuhkan efisiensi berlayar yang baik. Salah satu cara meningkatkan performa kapal adalah dengan meningkatkan efisiensi sistem propulsi kapal dengan memusatkan aliran menuju *propeller*. *Stern tunnels* adalah modifikasi bentuk buritan kapal dengan membuat sebuah cekungan kedalam untuk memusatkan aliran air menuju *propeller* kapal. Dengan penambahan *stern tunnels* ini dapat meningkatkan performa kapal yaitu dapat meningkatkan kecepatan *advanced* ( $V_a$ ) kapal dan mengurangi nilai *wake* kapal. *Stern tunnels* dipasang pada dua sisi buritan kapal dengan menggunakan dua variasi yaitu ketinggian *stern tunnels* ( $H_w$ ) dan panjang *stern tunnels* ( $L$ ). Analisa perhitungan kecepatan *advanced* dan *wake friction* kapal menggunakan software berbasis CFD dengan menggunakan 9 titik koordinat *probe*. Dari analisa didapatkan hasil bahwa kedua belas model variasi tersebut dapat meningkatkan kecepatan *advanced* kapal dan mengurangi *wake friction* kapal. Model M dengan tinggi penambahan tinggi *stern tunnels* 0,2 m dan panjang *stern tunnels* 9 m adalah model yang memiliki kecepatan *advanced* terbesar dan *wake friction* terkecil dengan presentase peningkatan kecepatan *advanced* sebesar 4,927 % dan presentase pengurangan nilai *wake* sebesar 30,4 %

Kata kunci : *Stern Tunnels*, Kecepatan *Advanced*, *Wake*, CFD, Kapal Penumpang

## 1. PENDAHULUAN

Kajian mengenai peningkatan performa kapal terutama kapal penumpang yang memperhatikan keefisienan dalam berlayar masih terus dilakukan di bidang Teknologi Kelautan terutama di bidang Teknik Perkapalan. Dalam mengkaji performa kapal masih dilakukan berbagai riset untuk menghasilkan *hullform* dengan performa kapal yang baik. Salah satu aspek yang perlu ditinjau dalam meningkatkan performa kapal adalah efisiensi *propeller* yang berhubungan dengan gaya dorong *propeller* tersebut.

Penelitian ini dilakukan pada kapal penumpang MV Tropical Princess Cruises yang merupakan kapal penumpang yang memiliki bentuk lambung v hull dengan menggunakan 2 *propulsor* sebagai alat penggerakannya. Pada kapal penumpang ini akan ditambahkan *stern tunnels* pada kedua sisi buritan kapal.

*Stern tunnels* adalah salah satu modifikasi *hullform* yang bertujuan untuk memusatkan aliran air menuju *propeller* kapal yang

berfungsi meningkatkan kecepatan *advanced* kapal sehingga *stern tunnels* ini dapat

menambah gaya dorong dan efisiensi *propeller* serta mengurangi nilai *wake* arus ikut kapal.

Kajian yang dilakukan pada kapal penumpang ini adalah melakukan modifikasi bentuk buritan kapal (*stern*) dengan 2 variasi yaitu variasi ketinggian *stern tunnels* ( $H_w$ ) dan variasi panjang *stern tunnels* ( $L$ ) dengan menggunakan software berbasis CFD dan tidak melakukan pengujian *towing tank*.

Beberapa Kajian yang sudah dilakukan [1] yang melakukan variasi parameter sekunder kapal yaitu memodifikasi *stern tunnels* dengan variabel yaitu ketinggian kenaikan *stern tunnels* ( $H_w$ ) menjadi 3 variasi dari 1,1 m - 1,5 m pada kapal Cargo Vessel BM-DUISBURG untuk menganalisis performa kapal berkesimpulan bahwa peningkatan  $H_w$  cenderung mengurangi *wake friction* dan meningkatkan *trust deduction factor*.

Dengan landasan tersebut maka perlu kiranya dilakukan pengkajian mengenai penambahan *stern tunnels* pada kapal

penumpang dengan bentuk dan variasi berbeda dari penelitian sebelumnya guna mendapatkan model variasi yang memiliki nilai kecepatan *advanced* ( $V_a$ ) terbesar dan nilai *wake friction* ( $W_e$ ) terkecil.

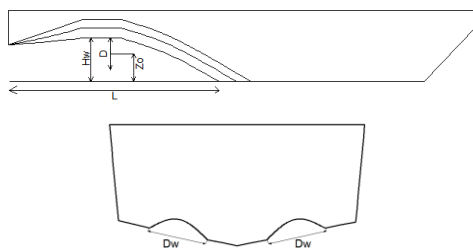
## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Karakteristik Kapal Penumpang

Kapal Tropical Princess Cruises merupakan jenis kapal penumpang yang melayani penyeberangan antar pulau. Kapal ini dikategorikan kapal penumpang dengan kapasitas kecil karena dimensi ukuran utama yang relatif kecil. Kapal penumpang harus memiliki kecepatan kapal yang baik dibandingkan dengan jenis kapal lainnya karena mempertimbangkan waktu pelayaran yang cepat.

### 2.2 Karakteristik Stern Tunnels

*Stern Tunnels* adalah modifikasi bentuk buritan kapal dengan membuat sebuah lekukan kedalam sehingga memungkinkan pemasangan *propeller* berdiameter lebih besar. Keuntungan dari *stern tunnels* ini adalah efisiensi yang lebih tinggi karena kombinasi dari penurunan sudut poros dan peningkatan ukuran baling-baling (yang mengarah ke efisiensi *propeller* yang lebih besar) [1]. Gambar 1 menunjukkan dimensi *stern tunnels* yang digunakan dalam penelitian ini.[1]



Gambar 1. Dimensi *Stern Tunnels*

Keterangan:

L : Panjang *stern tunnels*

Hw: Ketinggian *stern tunnels*

D : Diameter *propeller*

Dw: Diameter *stern tunnels*

Zo : Jarak *hub propeller* ke *baseline*

### 2.3 Effective Wake Friction

Fenomena yang terjadi dibagian belakang kapal akibat perubahan dari kecepatan aliran yang dihasilkan dari bagian depan kapal. Aliran air yang nantinya memasuki *propeller* berdampak pada harga efisiensi sistem propulsi

kapal. Fenomena aliran air dibelakang kapal antara lain *Velocity of advance* ( $V_a$ ) dan *Wake* ( $w$ ) [3].

Dalam setiap aliran air yang bergerak pada badan kapal dari depan kapal sampai ke bagian buritan kapal, selalu terjadi *wake* / arus ikut ( $w$ ) yang merupakan perbedaan antara kecepatan kapal dengan kecepatan air yang melalui baling-baling [2]. Semakin besar  $w$  yang terjadi akan mengakibatkan  $V_a$  akan menjadi lebih kecil. Dengan  $V_a$  yang semakin kecil maka daya yang diperlukan untuk mendorong kapal agar mencapai kecepatan yang diinginkan akan menjadi lebih besar. *Wake* pada kapal dapat terjadi karena pengaruh lambung kapal itu sendiri (dimana air akan mengalir menuju buritan dan membentuk arus) atau juga karena gerakan baling-baling kapal sehingga pada daerah disekitar baling-baling mengandung arus sesuai arah gerak baling-baling tersebut. Besarnya  $V_a$  dapat dirumuskan sebagai berikut [3]:

$$V_a / V_s = (1-w) \quad (1)$$

Sehingga *wake friction* ( $w$ ) dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [5] :

$$w = 0.3095.C_b + 10.C_v.C_b - 0.23D/(BT)^{0.5} \quad (2)$$

Besarnya  $V_a$  dapat dirumuskan sebagai berikut [5]:

$$V_a = (1-w) V_s \quad (3)$$

Dengan :

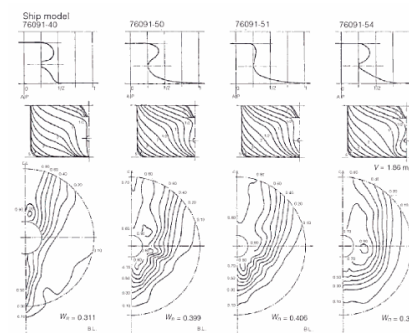
$V_a$  : *Velocity of advance* (m/s)

$V_s$  : Kecepatan dinas kapal (m/s)

$w$  : *Wake friction*

*Wake Distribution*

Gambar 2 menunjukkan distribusi wake akibat dari pengaruh bentuk buritan



Gambar 2. Pengaruh bentuk buritan pada *wake distribution* [4]

Akibat bentuk lambung pada buritan dan akibat pengembangan dari *boundary layer*, distribusi *wake* bersifat *non-uniform* disekitar baling-baling. Bentuk buritan yang berbeda menyebabkan distribusi *wake* yang berbeda.

## 2.4. Computational Fluid Dynamic (CFD)

*Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa permasalahan yang berhubungan dengan aliran fluida. Tujuan dari CFD adalah untuk memprediksi secara akurat tentang aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dalam sistem yang kompleks, yang melibatkan satu atau semua fenomena di atas *Computational Fluid Dynamics* terdiri dari tiga elemen utama yaitu:

- Pre Processor
- Solver Manager
- Post Processor

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

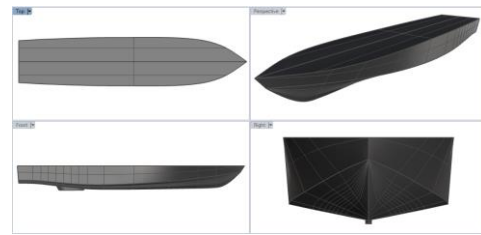
### 3.1 Bentuk dan Ukuran Kapal

Pada penelitian ini model yang akan di analisa menggunakan software CFD diskala pada ukuran tertentu agar memudahkan dalam proses perhitungan. Skala yang digunakan adalah 1 : 40 dengan rincian sebagai berikut:

Tabel.1 Ukuran Utama Kapal

Dimensi	Skala Asli	Model Kapal
LOA	30.66 m	0.7665 m
Lwl	28.655 m	0.7164 m
B	6.08 m	0.1520 m
T	1.52 m	0.0380 m
WSA	170.953 m <sup>2</sup>	0.1067 m <sup>2</sup>
Vs	7.716 m.s <sup>-1</sup>	1.2188 m.s <sup>-1</sup>
Fn	0.46	0.46

Gambar 3. adalah tampilan 3D kapal penumpang yang dibuat di software Rhinoceros.



Gambar 3. 3D modelling kapal

### 3.2 Parameter Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada efek yang ditimbulkan oleh penambahan *stern tunnels*. Parameter yang dipakai adalah sebagai berikut :

➤ Parameter tetap :

1. Dimensi properties dari lambung kapal antara lain,
  - *Length Perpendicular* (LPP) (m)
  - *Breadth* (B) (m)
  - *Draft* (T) (m)
  - Kecepatan kapal (Vs) (m/s)
  - Diameter *stern tunnels* (m)
  - Diameter *propeller* (m)

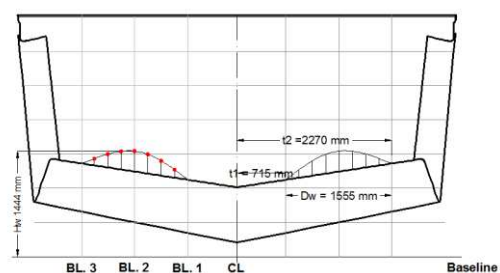
➤ Parameter peubah

1. Ketinggian *stern tunnels* (Hw) (m)
2. Panjang *stern tunnels* (L) (m)

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Pemodelan Variasi Stern Tunnels

Metode yang digunakan dalam variasi bentuk *stern tunnels* adalah korespondensi satu satu dari parameter yang digunakan. Gambar 4 menunjukkan parameter bentuk *stern tunnels* pada pemodelan variasi.



Gambar 4. Parameter bentuk *stern tunnels*

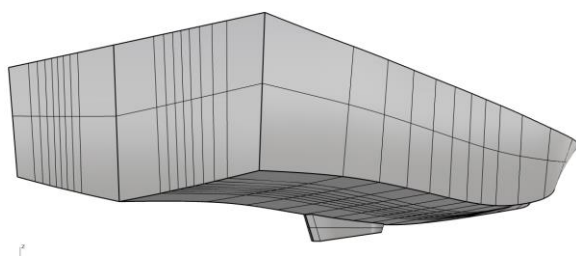
Dalam penelitian ini dirancang model *stern tunnels* sebanyak 2 buah yaitu di *starboard* dan *portside* buritan kapal. Bentuk dari *stern tunnels* adalah bentuk ellips dengan bantuan spline antara titik BL 1, BL 2 dan BL 3 pada autoCAD. Parameter pada variasi bentuk *stern tunnels* adalah Hw (ketinggian *stern tunnels*) yang diukur dari *baseline* dan L (panjang *stern tunnels*) yang diukur dari ujung

buritan sedangkan diameter *stern tunnels* diasumsikan tetap dengan diameter *stern tunnels* sebesar 1.555 m yang diambil dari titik BL 1 dan BL 3 sehingga dari model variasi desain tersebut didapatkan 12 model variasi baru dengan batas nilai perubahan WSA maksimal sebesar 5% dari WSA kapal original. Hw original kapal sebesar 1,244 m. Skema korespondensi satu satu menghasilkan variasi bentuk *stern tunnels* seperti data yang tersaji pada Tabel 2

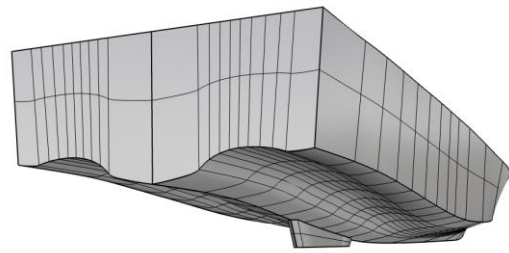
Tabel. 2 Variasi Model

Model	H <sub>w</sub> <sub>tunnel</sub>	L <sub>tunnel</sub>
Model A	Original	Original
Model B	1,344 m	7 m
Model C	1,344 m	8 m
Model D	1,344 m	9 m
Model E	1,394 m	7 m
Model F	1,394 m	8 m
Model G	1,394 m	9 m
Model H	1,444 m	7 m
Model I	1,444 m	8 m
Model J	1,444 m	9 m
Model K	1,494 m	7 m
Model L	1,494 m	8 m
Model M	1,494 m	9 m

Model sebanyak 13 tersebut kemudian dibuat di software *Rhinoceros 5.0* sesuai dengan ukuran yang sudah ditentukan pada masing-masing variasi *stern tunnels*. Berikut adalah tampilan gambar model asli dan hasil korespondensi satu - satu variasi bentuk *stern tunnels*. Gambar 5 & 6 menunjukan bentuk perbedaan hullform model original dan model yang ditambahkan *stern tunnels*



Gambar 5 Model Original



Gambar 6. Gambar Model + *stern tunnels*

Dari penambahan *stern tunnels* tersebut mengakibatkan perubahan nilai *wetted surface area* (WSA) kapal. Tabel 3 menunjukkan nilai perubahan WSA tiap model.

Tabel.3 Perbandingan Nilai WSA Kapal

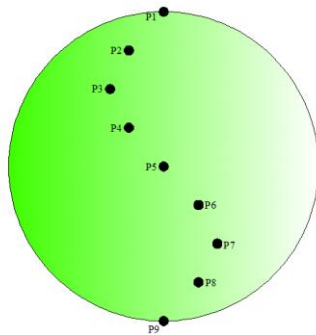
Model	WSA (m <sup>2</sup> )	Presentase Selisih (%)
Model A	0.10676	0.000
Model B	0.10713	0.342
Model C	0.10720	0.412
Model D	0.10725	0.461
Model E	0.10733	0.535
Model F	0.10738	0.579
Model G	0.10739	0.592
Model H	0.10740	0.598
Model I	0.10743	0.628
Model J	0.10756	0.752
Model K	0.10758	0.771
Model L	0.10768	0.861
Model M	0.10775	0.925

Model asli dan model variasi tersebut dianalisa menggunakan software berbasis CFD dan hasilnya dicari nilai *Va* dan wake nya.

#### 4.2 Perhitungan Wake Friction

Pada *CFD software package* fitur yang digunakan untuk menganalisa kecepatan aliran di buritan yaitu mendapatkan nilai kecepatan *advanced* (*Va*) dengan fitur *probe* dengan memasukan koordinat x,y dan z. Oleh karena itu lokasi *point* perlu dirancang sedemikian rupa untuk mewakili nilai kecepatan *advance* didaerah buritan kapal. *Point* dirancang sesuai dengan diameter *propeller* kapal. Lokasi *point* direncanakan menjadi 9 (sembilan) lokasi berbeda.

Gambar 7 menunjukan Penempatan lokasi *point*. [5]



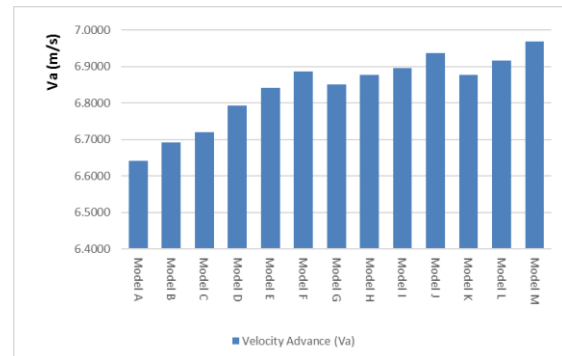
Gambar 7. Lokasi penempatan *point* pada *propeller*

Penempatan *propeller* diletakan dengan jarak dasar/ *baseline* sampai bos poros *propeller* sebesar 0,01242 m dengan diameter *propeller* diambil pada  $0,7 \times T$  adalah 0,0252 m. Dalam menentukan nilai *wake*, hasil dari kecepatan *advanced* pada model yang sudah diskala kemudian dihitung nilai  $F_n$  untuk mencari nilai kecepatan *advance* yang asli. Kemudian dari kecepatan *advance* yang asli dicari nilai *wake*/arus ikut dengan menggunakan rumus  $W = 1 - (V_a/V_s)$ . Tabel 4 menunjukkan perbandingan nilai  $V_a$  tiap model variasi.

Tabel. 4 Perbandingan Nilai  $V_a$  tiap Model

MODEL	$V_a$ [m/s]	$V_s$ [m/s]	Selisih (%)
Model A	6.6407	7,716	
Model B	6.6913	7,716	0.761
Model C	6.7194	7,716	1.185
Model D	6.7928	7,716	2.290
Model E	6.8413	7,716	3.020
Model F	6.8860	7,716	3.694
Model G	6.8512	7,716	3.170
Model H	6.8769	7,716	3.556
Model I	6.8951	7,716	3.831
Model J	6.9364	7,716	4.452
Model K	6.8773	7,716	3.562
Model L	6.9155	7,716	4.138
<b>Model M</b>	<b>6.9679</b>	<b>7,716</b>	<b>4.927</b>

Berdasarkan data pada Tabel 4 dapat dibuat grafik perbandingan nilai *velocity of advanced* masing masing variasi model. Gambar 8 menunjukan perbandingan nilai  $V_a$  pada ketiga model variasi.



Gambar 8. Lokasi penempatan *point* pada *propeller*

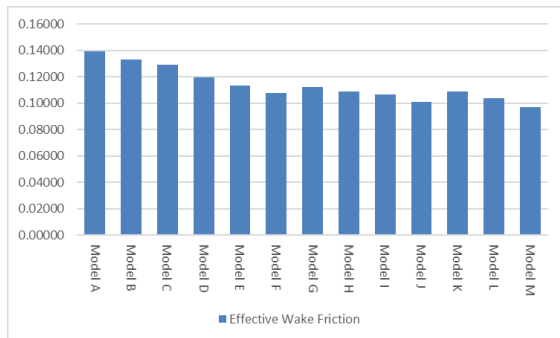
Berdasarkan data pada Tabel 4 menunjukan bahwa penambahan stern tunnels pada kapal penumpang ini dapat meningkatkan kecepatan *advanced* kapal pada kedua belas model yang divariasi dengan range selisih meningkat 0,761 – 4,927 %. Dari data tersebut didapatkan bahwa model M dengan tinggi stern tunnels 1,494 m dan panjang stern tunnels 9 m adalah model yang memiliki kecepatan *advanced* terbesar yaitu sebesar 6,9679 m/s dan dapat meningkatkan kecepatan *advanced* sebesar 0,3272 m/s atau sebesar 4,927 %. Tabel 5 menunjukan perbandingan nilai *wake* pada tiap model variasi.

Tabel. 5 Perbandingan Nilai Wake tiap Model

MODEL	$V_a$ [m/s]	Wake	Selisih (%)
Model A	6.641	0.139	
Model B	6.691	0.133	-4.699
Model C	6.719	0.129	-7.318
Model D	6.793	0.120	-14.144
Model E	6.841	0.113	-18.648
Model F	6.886	0.108	-22.813
Model G	6.851	0.112	-19.577
Model H	6.877	0.109	-21.963
Model I	6.895	0.106	-23.658
Model J	6.936	0.101	-27.497
Model K	6.877	0.109	-22.001
Model L	6.916	0.104	-25.555
<b>Model M</b>	<b>6.968</b>	<b>0.097</b>	<b>-30.430</b>

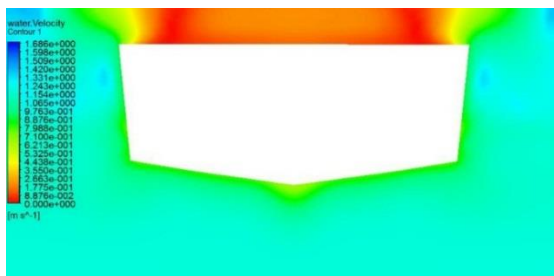
Grafik nilai *wake friction* tiap tiap model variasi disajikan pada gambar 9.



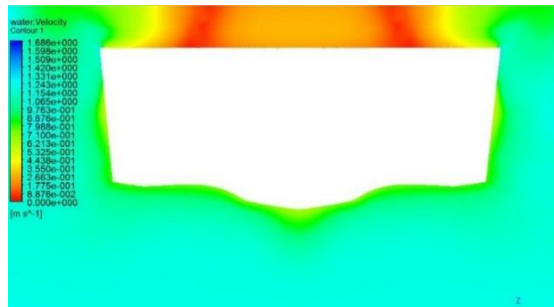


Gambar 9. Grafik nilai *wake friction*

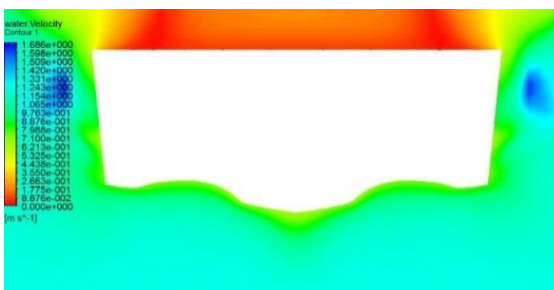
Berikut (Gambar 10,11,12) adalah perbedaan *contour water velocity* pada penampang *propeller* kapal pada model A, Model F dan Model M.



Gambar 10. *Contour Water Velocity* Model A



Gambar 11. *Contour Water Velocity* Model F



Gambar 12. *Contour Water Velocity* Model M

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan percobaan dan simulasi yang telah dilakukan terhadap model kapal penumpang original dan kapal yang telah

dilakukan penambahan *stern tunnels* maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada penelitian ini, Model M dengan penambahan *stern tunnels* dengan tinggi *stern tunnels* 1,494 m atau rasio penambahan *stern tunnels* sebesar 20 % dan panjang *stern tunnels* 9 m adalah model yang memiliki nilai kecepatan *advanced* kapal terbesar yaitu sebesar 6,9679 m/s dengan selisih nilai  $V_a$  dengan model original meningkat sebesar 0,0,3272 m/s dan presentase selisihnya meningkat sebesar 4,927%.
2. Pada penelitian ini, Model M dengan penambahan *stern tunnels* dengan tinggi *stern tunnels* 1,494 m atau rasio penambahan *stern tunnels* sebesar 20 % dan panjang *stern tunnels* 9 m adalah model yang memiliki nilai *effective wake friction* kapal terkecil yaitu sebesar 0,0969 dengan selisih nilai *wake* dengan model original berkurang sebesar 0,0424 dan presentase selisihnya berkurang sebesar 30,4 %.
3. Pada penelitian ini membuktikan bahwa dengan adanya penambahan *stern tunnels* dapat meningkatkan kecepatan *advanced* kapal dan mengurangi nilai *effective wake friction* kapal.

## 5.2 Saran

Adapun saran- saran yang dapat dilakukan terhadap analisa ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan analisa penambahan *stern tunnels* dengan bentuk variasi bentuk *stern tunnels* yang berbeda.
2. Dari penelitian ini dapat dikembangkan untuk kajian efek penambahan *stern tunnels* terhadap gaya efisiensi propeller kapal

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kulczyk, J & Tabaczek. 2014 *Coefficients of propeller- hull interaction in propulsion system of inland waterway vessel with stern tunnels*. TransNav the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation Vol. 8 No. 3 pp. 377-384
- [2] Harvald. S.S. 1983. *Resistance and Propulsion of Ships*. New York: John Wiley and Sons.

- [3] Lewis, Edward, V. 1988. Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME), *Principles of Naval Architecture Vol. II, Resistance and Propulsion*. New Jersey.
- [4] Molland, F.A., Turnock, R.S., & Hudson, A.D. 2011, *Ship Resistance and Propulsion: practical estimation of ship propulsive power*. New York: Cambridge University Press
- [5] Setiawan, A.Y.2014. *Modifikasi Bentuk Buritan Pada Shallow Draft Bulk Carrier Untuk Meningkatkan Efisiensi Sistem Propulsi*. ITS Undergraduate paper pp. 1-6